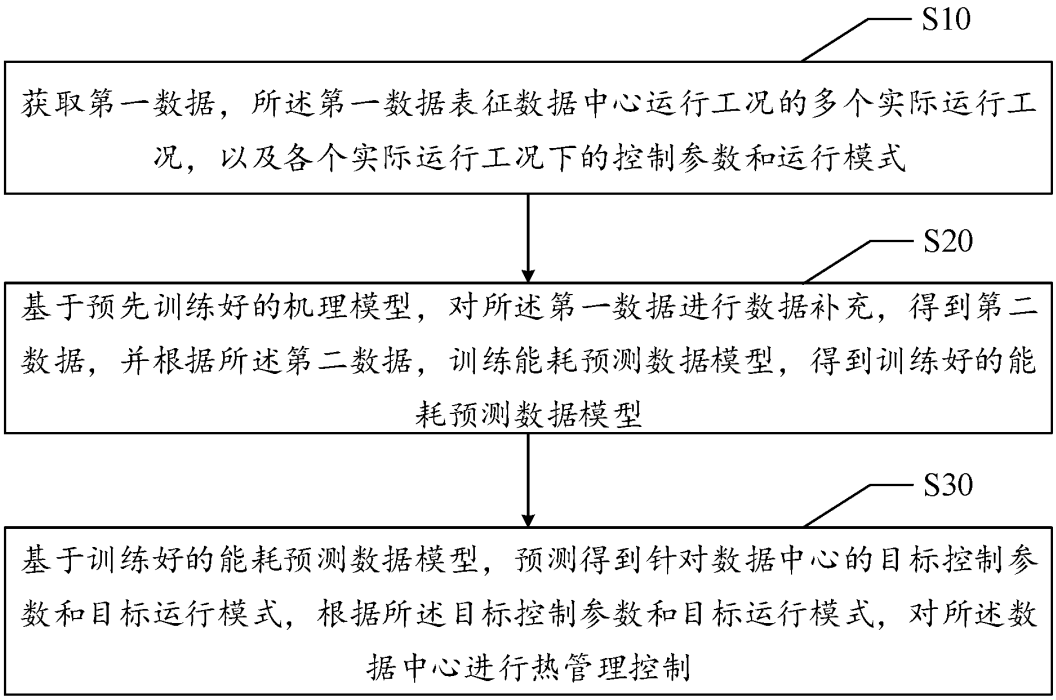

S10
获取第一数据，所述第一数据表征数据中心运行工况的多个实际运行工况，以及各个实际运行工况下的控制参数和运行模式
S20
基于预先训练好的机理模型，对所述第一数据进行数据补充，得到第二数据，并根据所述第二数据，训练能耗预测数据模型，得到训练好的能耗预测数据模型
S30
基于训练好的能耗预测数据模型，预测得到针对数据中心的目标控制参数和目标运行模式，根据所述目标控制参数和目标运行模式，对所述数据中心进行热管理控制

图 1

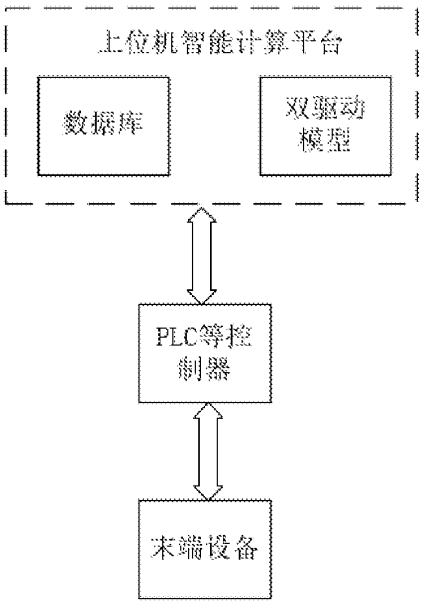

上位机智能计算平台
数据库
双驱动模型
PLC等控制器
末端设备

图 2

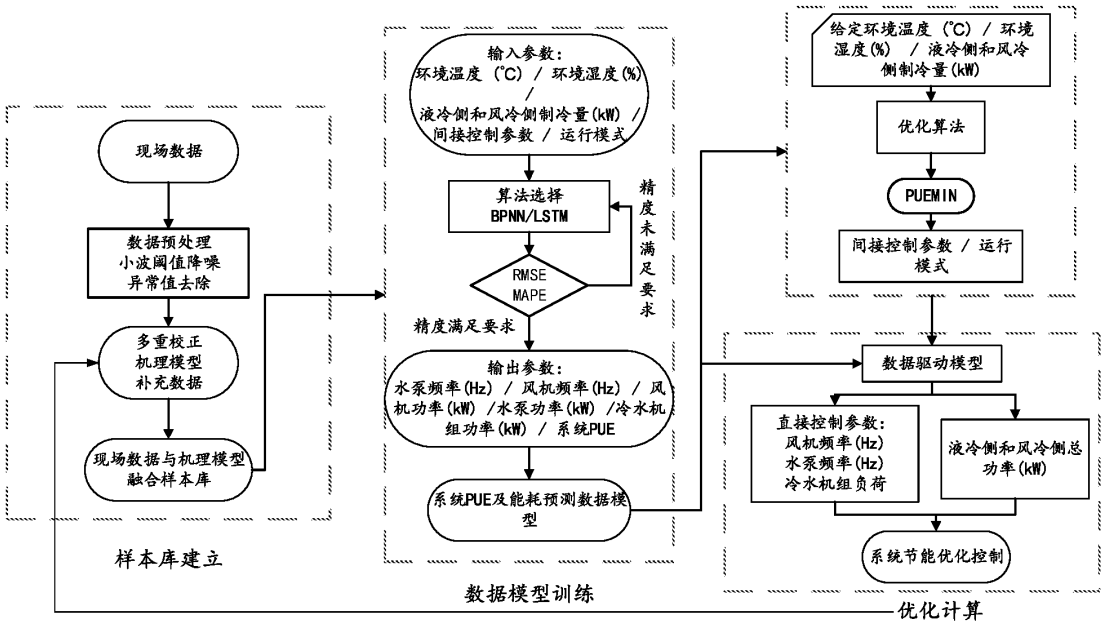

现场数据
数据预处理
小波阈值降噪
异常值去除
多重校正
机理模型
补充数据
现场数据与机理模型
融合样本库
样本库建立
输入参数：
环境温度（℃）/ 环境湿度(%)
/
液冷侧和风冷侧制冷量(kW) /
间接控制参数 / 运行模式
算法选择
BPNN/LSTM
RMSE
MAPE
精度未满足要求
精度满足要求
输出参数：
水泵频率(Hz) / 风机频率(Hz) / 风机功率(kW) /水泵功率(kW) /冷水机组功率(kW) / 系统PUE
系统PUE及能耗预测数据模型
数据模型训练
给定环境温度（℃）/ 环境湿度(%) / 液冷侧和风冷侧制冷量(kW)
优化算法
PUEMIN
间接控制参数 / 运行模式
数据驱动模型
直接控制参数：
风机频率(Hz)
水泵频率(Hz)
冷水机组负荷
液冷侧和风冷侧总功率(kW)
系统节能优化控制
优化计算

图 3

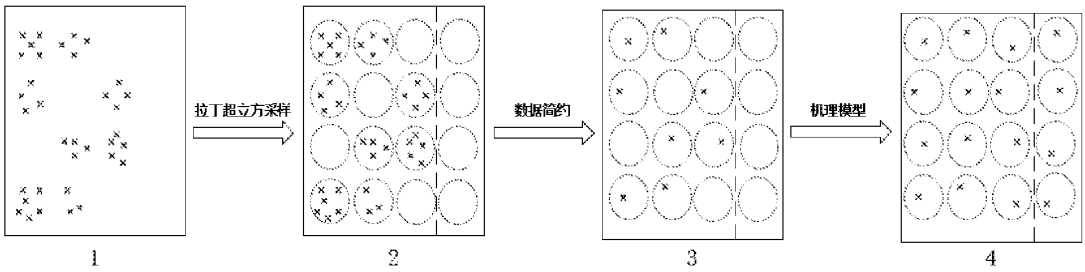

拉丁超立方采样
数据简约
机理模型
1
2
3
4

图 4

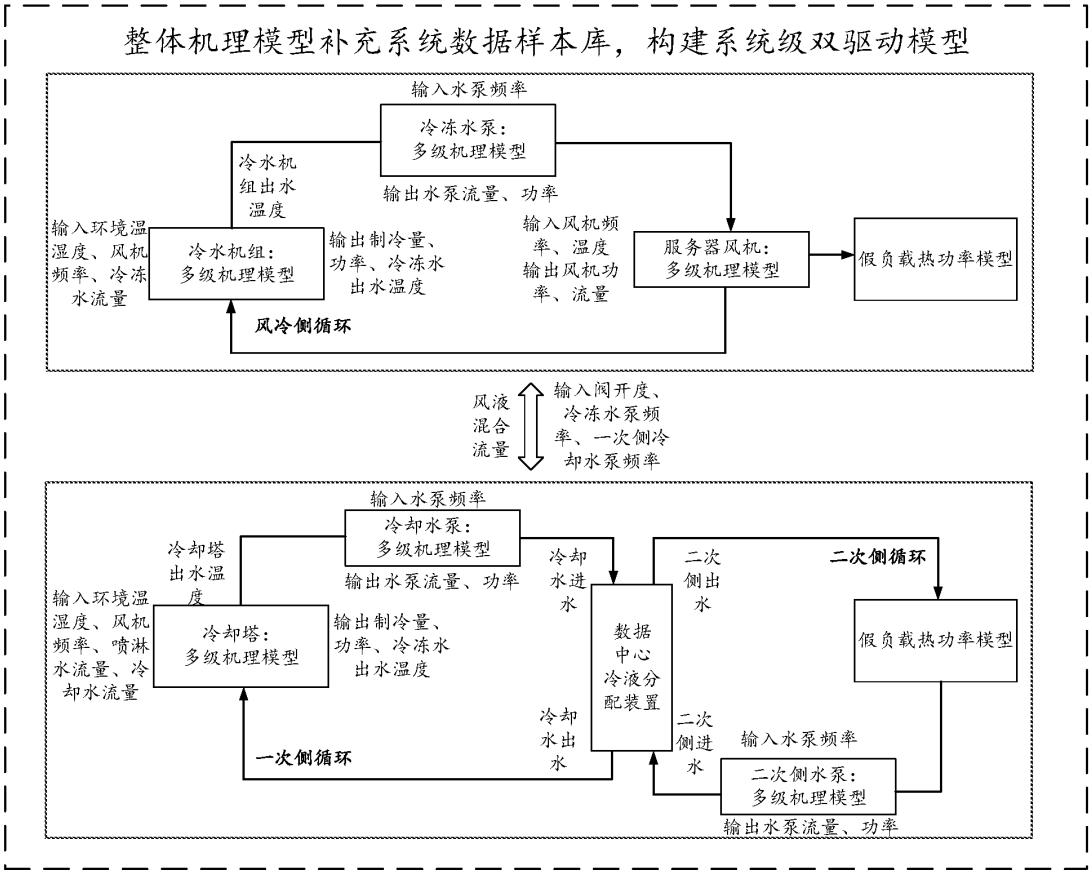

整体机理模型补充系统数据样本库，构建系统级双驱动模型
输入水泵频率
冷冻水泵：
多级机理模型
冷水机
组出水
温度
输出水泵流量、功率
输入环境温
湿度、风机
频率、冷冻
水流量
冷水机组：
多级机理模型
输出制冷量、
功率、冷冻水
出水温度
输入风机频
率、温度
输出风机功
率、流量
服务器风机：
多级机理模型
假负载热功率模型
风冷侧循环
风液
混合
流量
输入阀开度、
冷冻水泵频
率、一次侧冷
却水泵频率
输入水泵频率
冷却水泵：
多级机理模型
冷却塔
出水温
度
输出水泵流量、功率
冷却
水进
水
二次
侧出
水
二次侧循环
输入环境温
湿度、风机
频率、喷淋
水流量、冷
却水流量
冷却塔：
多级机理模型
输出制冷量、
功率、冷冻水
出水温度
数据
中心
冷液分
配装置
假负载热功率模型
冷却
水出
水
二次
侧进
水
输入水泵频率
一次侧循环
二次侧水泵：
多级机理模型
输出水泵流量、功率

图 5

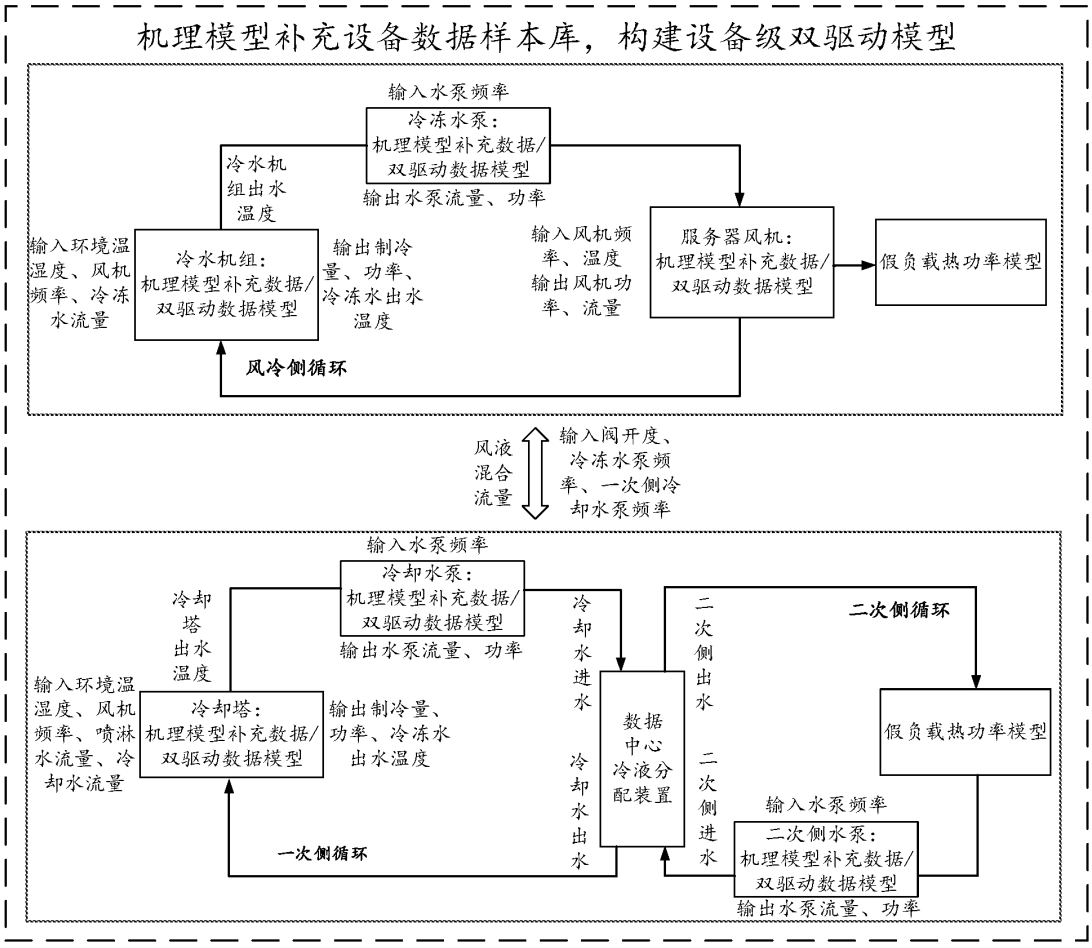

机理模型补充设备数据样本库，构建设备级双驱动模型
输入水泵频率
冷冻水泵：机理模型补充数据/双驱动数据模型
输出水泵流量、功率
冷水机组出水温度
输入环境温湿度、风机频率、冷冻水流量
冷水机组：机理模型补充数据/双驱动数据模型
输出制冷量、功率、冷冻水出水温度
输入风机频率、温度输出风机功率、流量
服务器风机：机理模型补充数据/双驱动数据模型
假负载热功率模型
风冷侧循环
风液混合流量
输入阀开度、冷冻水泵频率、一次侧冷却水泵频率
输入水泵频率
冷却水泵：机理模型补充数据/双驱动数据模型
输出水泵流量、功率
冷却塔出水温度
输入环境温湿度、风机频率、喷淋水流量、冷却水流量
冷却塔：机理模型补充数据/双驱动数据模型
输出制冷量、功率、冷冻水出水温度
冷却水进水
冷却水出水
数据中心冷液分配装置
二次侧出水
二次侧进水
二次侧循环
假负载热功率模型
输入水泵频率
二次侧水泵：机理模型补充数据/双驱动数据模型
输出水泵流量、功率
一次侧循环

图 6

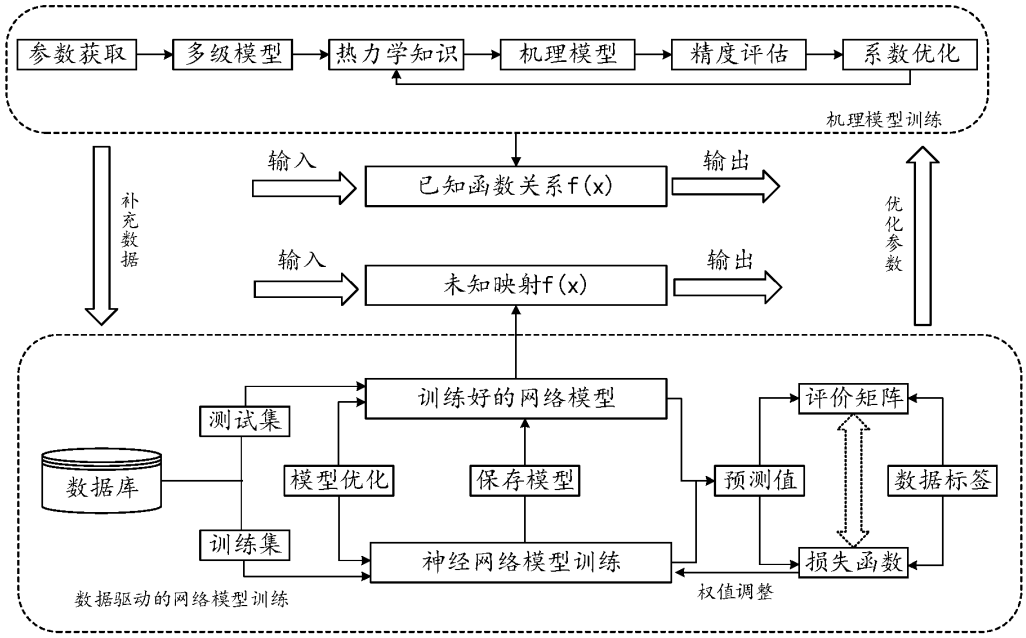

参数获取
多级模型
热力学知识
机理模型
精度评估
系数优化
机理模型训练
输入
已知函数关系f(x)
输出
输入
未知映射f(x)
输出
补充数据
优化参数
训练好的网络模型
测试集
评价矩阵
数据库
模型优化
保存模型
预测值
数据标签
训练集
神经网络模型训练
损失函数
数据驱动的网络模型训练
权值调整

图 7

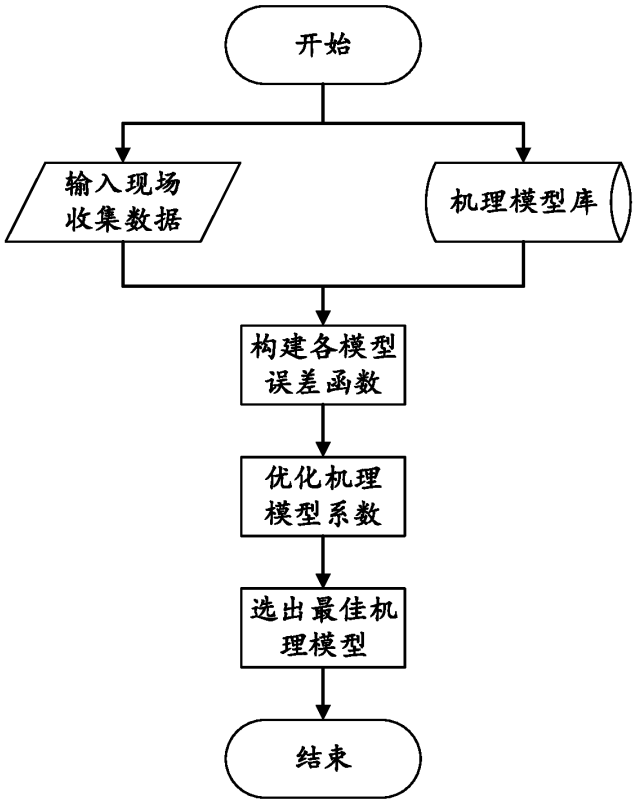

开始
输入现场收集数据
机理模型库
构建各模型误差函数
优化机理模型系数
选出最佳机理模型
结束

图 8

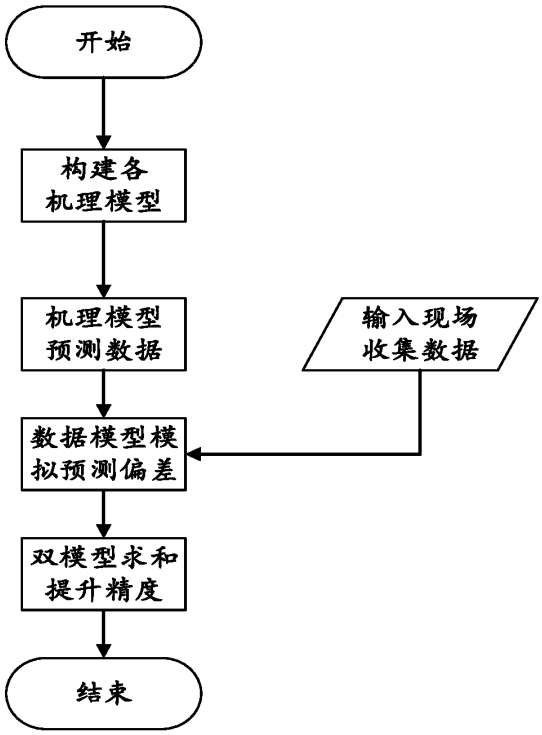

开始
构建各机理模型
机理模型预测数据
输入现场收集数据
数据模型模拟预测偏差
双模型求和提升精度
结束

图 9

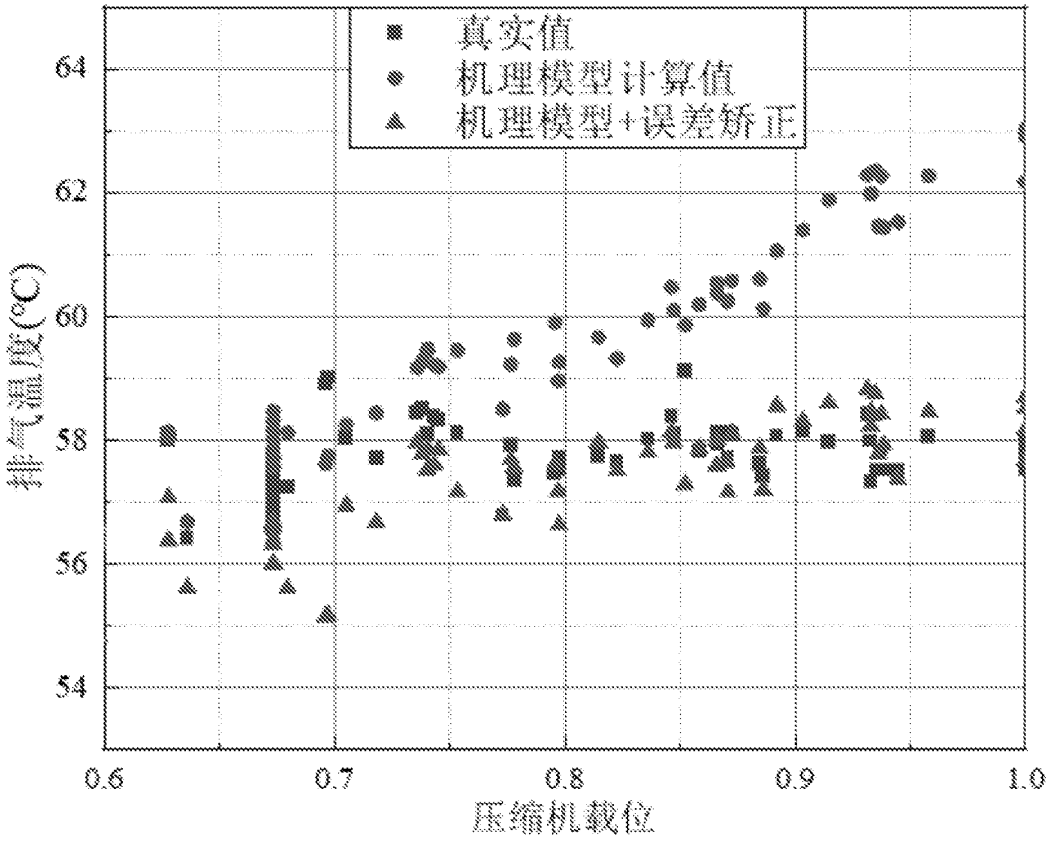

真实值
机理模型计算值
机理模型+误差矫正
排气温度(°C)
64
62
60
58
56
54
0.6
0.7
0.8
0.9
1.0
压缩机载位

图 10

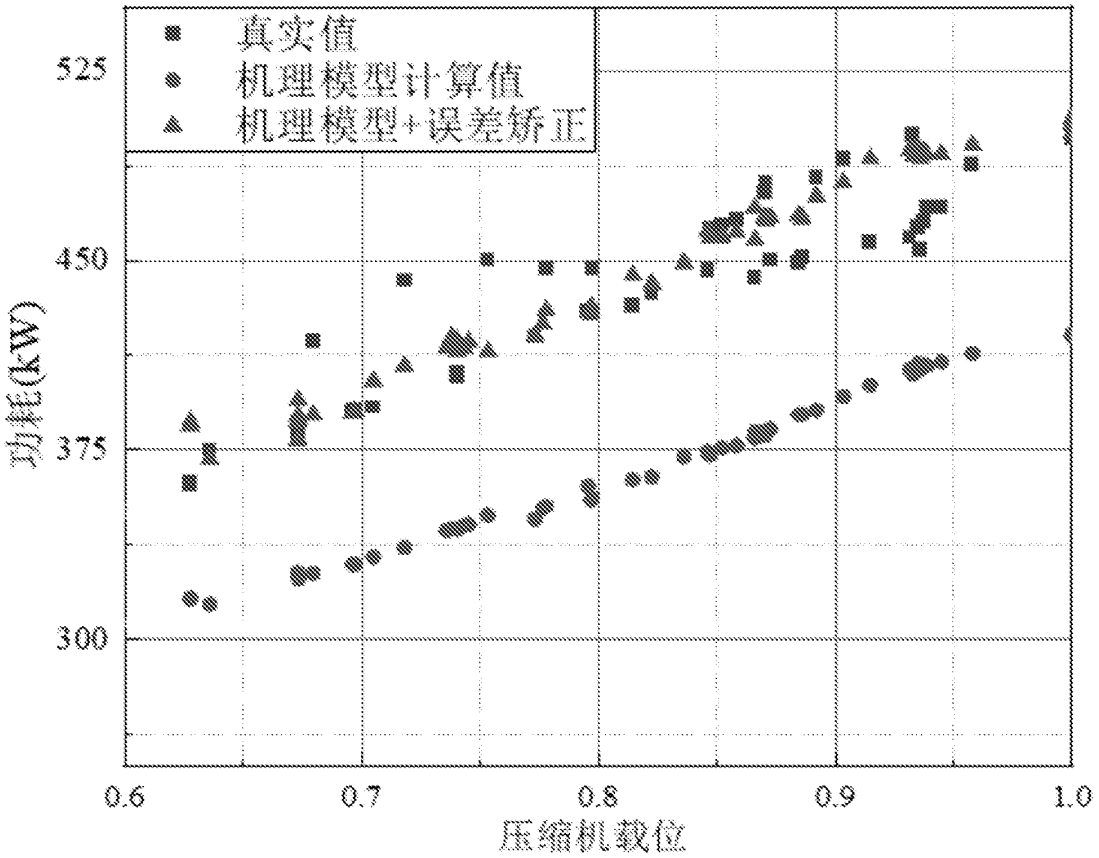

真实值
机理模型计算值
机理模型+误差矫正
525
450
375
300
功耗(kW)
0.6
0.7
0.8
0.9
1.0
压缩机载位

图 11

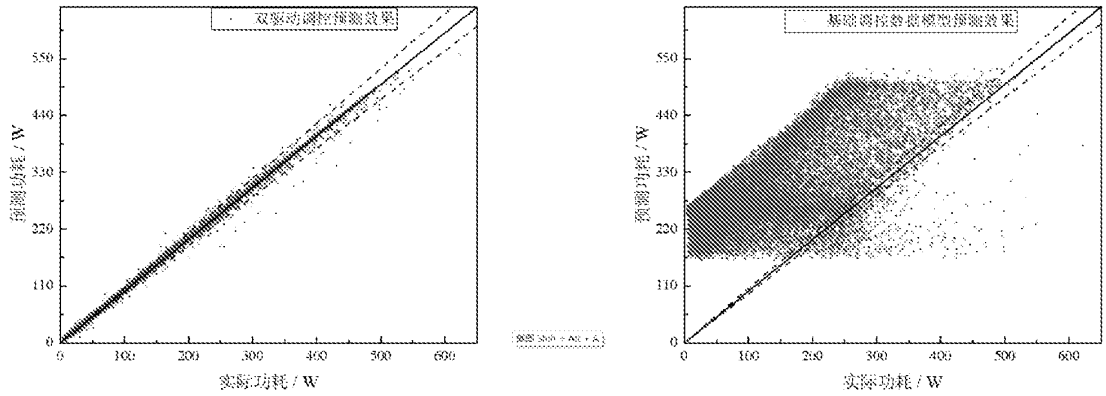

550
440
330
220
110
0
0
100
200
300
400
500
600
实际功耗 / W

图 12

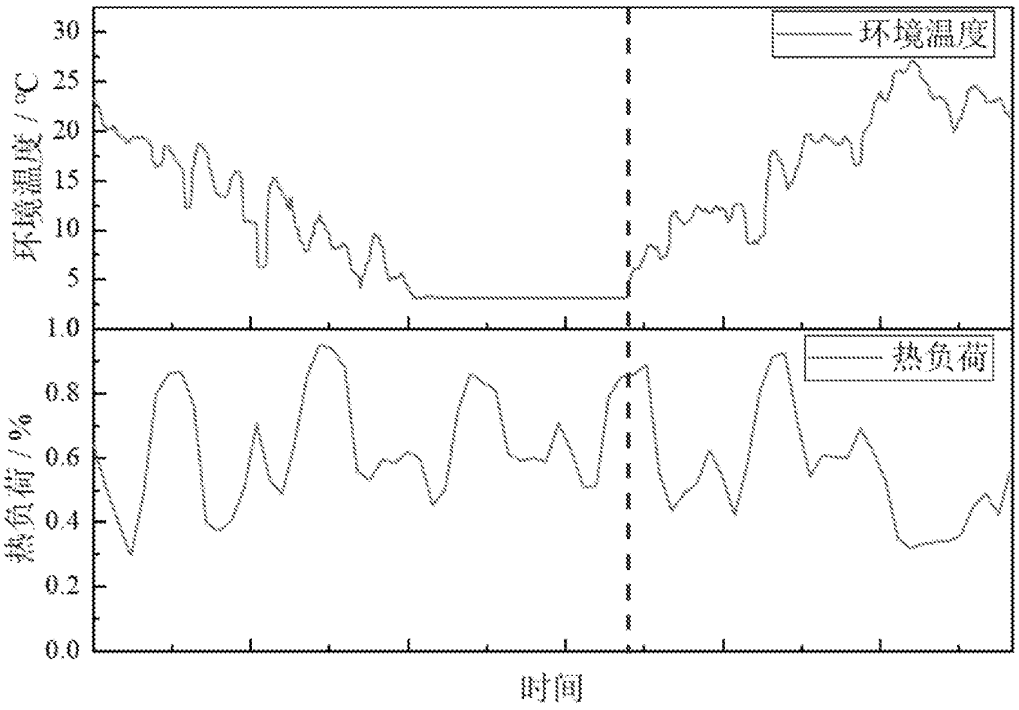

环境温度
热负荷
环境温度 / ℃
热负荷 / %
30
25
20
15
10
5
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
时间

图 13

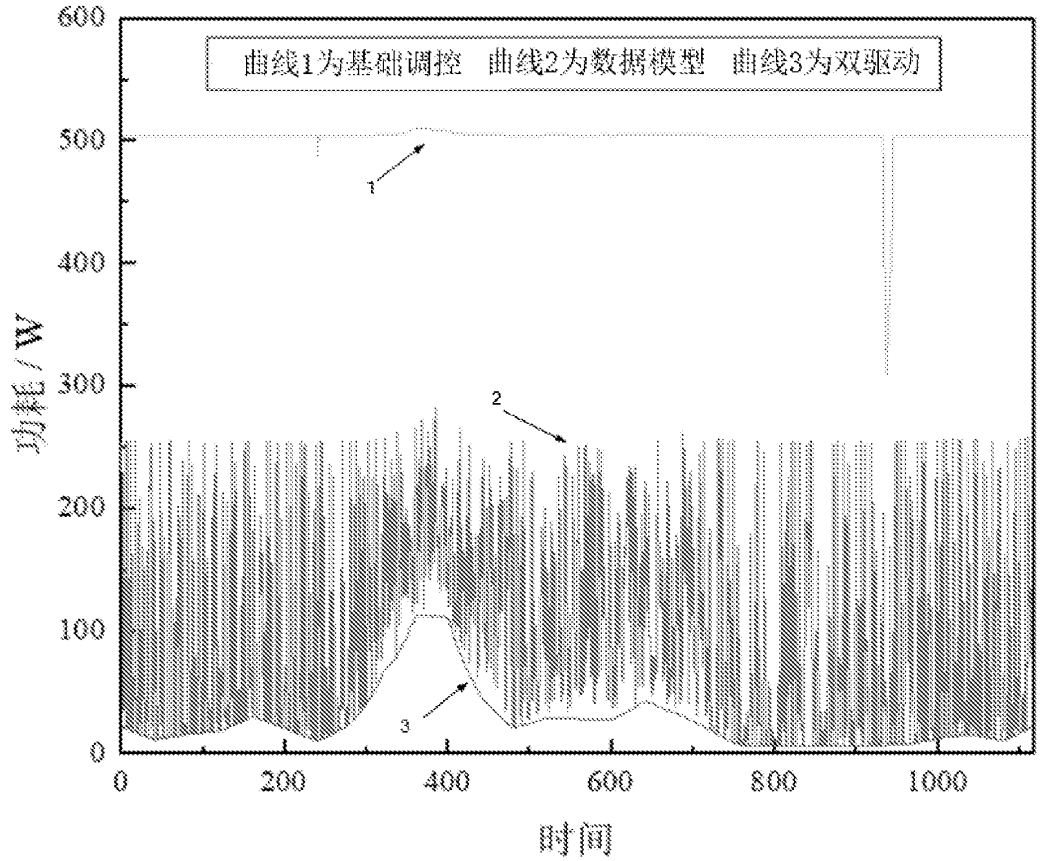

曲线1为基础调控 曲线2为数据模型 曲线3为双驱动
1
2
3
功耗 / W
600
500
400
300
200
100
0
0
200
400
600
800
1000
时间

图 14

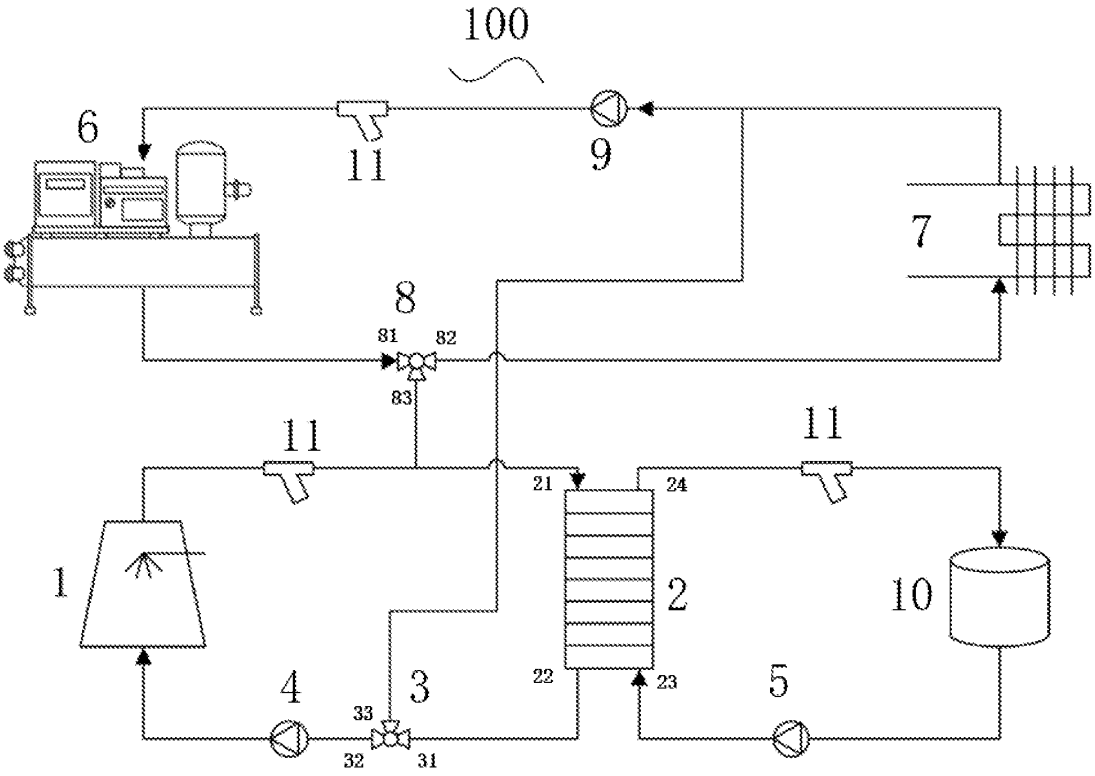

100
6
11
9
7
8
81
82
83
11
11
21
24
1
2
10
4
3
22
23
5
33
32
31

图 15

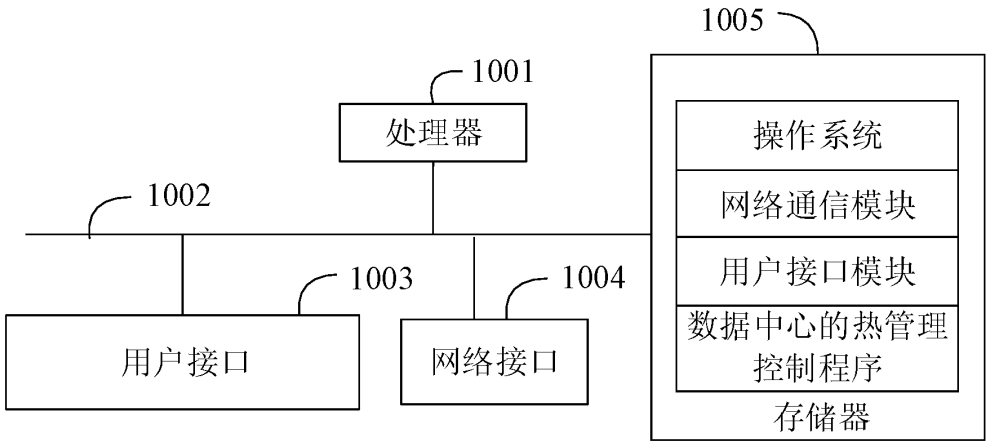

1005
1001
处理器
操作系统
网络通信模块
用户接口模块
数据中心的热管理控制程序
1002
1003
1004
用户接口
网络接口
存储器

图 16